

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI**

FIZIKA-MATEMATIKA FAKULTETI

FIZIKA KAFEDRASI

KATTA O'QITUVCHISI

INOYATOV SHUKRULLONING

ATOMDAGI BOG'LANISH ENERGIYASI

MAVZUIDA TAYYORLAGAN

REFERATI

Atomdagi bog'lanish energiyasi

R e j a

1. Shryodinger tenglamasi
2. Vodorod atomi ustida hisoblash usullari

Kvant mexanikasida qo'llaniladigan muhim fizik qonunlardan biri *holatlarning superpozitsiya tamoyilidir*. Uni quyidagicha tushunish lozim. Faraz qilaylik. Shryodinger tenglamalarini yechib tizim holatini ifodalovchi ψ_1 , ψ_2 funktsiyalarini aniqladik. Agar tizim (zarracha yoki zarrachalar to'plami) ψ_1 va ψ_2 funktsiyalar bilan aniqlanuvchi holatlarda bo'lsa, u albatta bu ikki holat chiziqli kombinatsiyasidan iborat bo'lgan

$$\Psi = C_1\Psi_1 + C_2\Psi_2 \quad (1)$$

holatda ham bo'la 'ladi. Bu erdagi S_1 va S_2 lar mos holda ψ_1 va ψ_2 xususiy holatlar amplitudasini aniqlovchi kattalik bo'lib, umumiy holda kompleks sonlardir. (3.2.1) formula kvant mexanikasida holatlar superpozitsiyasining matematik ifodasidir. Agar holatlar soni ko'p bo'lsa 1 ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\Psi = C_1\Psi_1 + C_2\Psi_2 + \dots + C_v\Psi_v + \dots = \sum_v C_v\Psi_v \quad (2)$$

Bu murakkab holat funktsiyasidir. Agar superpozitsiyalanuvchi holatlar bir-biridan, masalan, impuls bo'yicha cheksiz kichik qiymatga farq qilsa, (2) formulani Integral orqali ifodalash mumkin:

$$\Psi = \int C_p \rightarrow \Psi_p \rightarrow dp_x dp_y dp_z. \quad (3)$$

Superpozitsiya tamoyili mumtoz fizikada ham uchraydi. Masalan, fazoda elektr maydonini bir necha nuqtaviy zaryadlar hosil qilgan bo'lsa, fazoning ixtiyoriy nuqtasidagi elektr maydon kuchlanganligi har bir nuqtaviy zaryadning Shu nuqtadagi elektr maydon kuchlanganliklarining ge'metrik yig'indisi iborat bo'ladi. Shunday yo'l bilan dipoli, kvadrupoli maydonlari hisoblanadi. Kvant mexanikasidagi superpozitsiya tamoyili mumtoz fizikdagi superpozitsiya tamoyilidan tubdan farq qiladi. Masalan, zarracha Ψ_1 holatda bo'lganda uni tavsiflovchi kattalik L_1 bo'lsin, Ψ_2 holatda- L_2 bo'lsin. Tizim yuqoridagi formula bilan aniqlanuvchi Ψ holatda bo'lganda uni tavsiflovchi parametr L_1 va L_2 ning kombinatsiyasidan (mumtoz fizikadagi o'xshash) iborat bo'lmaydi. Bu yangi Ψ holatda ham tizimni tavsiflovchi parametr L_1 yoki L_2 bo'ladi. Qaysi

birinchi bo'lish (yoki o'lchash) da ko'prok topilishi ehtimolligi S_1 va S_2 koeffitsientlar o'rtasidagi nisbatga bog'liq. yana bir misol. Mumtoz fizikada ikkita tebranishning superpozitsiyasi tufayli yangi qo'shiluvchi tebranishlardan fizik kattaliklari bilan farq qiluvchi tebranma harakat hosil bo'ladi. Kvant mexanikasida esa ikkita bir xil holatning qo'shilishi holat funktsiyasini biror doimiy qiymatga ko'paytmasiga teng kuchli. Demak, bu holda yangi holat vujudga kelmaydi. Kvant mexanikasining superpozitsiya tamoyili tajribalarda tasdiqlangan bo'lib, tizimning har qanday holatini ko'p mikrodagi holatlar superpozitsiyasi ko'rinishida ifodalash mumkinligini yoki berilgan kvant tizimi uchun o'zaro superpozitsiyalanuvchi holat funktsiyalarini hosil qilish mumkinligini ko'rsatadi.

Fizika fani tajribaga asoslangandir. Tajriba xodisalarini to'g'ri tushuntirish ularning ichki uzviy bog'lanishlarini, umumiy asoslarini aniqlash kvant mexanikasining asosiy vazifasi hisoblanadi. Nazariy natijalarni tajriba bilan taqqoslash amalda fizik kattaliklarni o'lchash yo'li bilan bajariladi. Ammo mikroolamda o'lchash jarayoni katta muammodir. chunki o'lchov asboblari, tabiiyki, mumtoz fizika qonunlariga buysunuvchi makroob'ektlardir. Mikroolam zarrachalari esa uziga xos xususiyatli kvant mexanikasi kounnlariga itoat qiluvchi ob'ektlardir. Har qanday o'lchash esa o'zaro ta'sirga asoslangan. Demak, mikroolam zarrachalarining fizik kattaliklarini o'lchash mumtoz va kvant fizikasi qonunlariga buysinuvchi ikkita ob'ektni to'qnashishi tufayli amalga oshadi. Ana shunday to'qnashishlarni to'g'ri aks ettiradigan fundamental tenglamalarning yukligi o'lchash tufayli mikroolamning ob'ektiv kattaliklarini aniqlashni qiyinlashtiradi.

Ikkinchi tomondan mikrozarracha fizik kattaliklarning (masalan, $p_x, p_y, p_z, x, y, z, t, E, \dots$) barchasini ham bir vaqtda o'lchab bo'lmaydi. Mumtoz fizikada esa korpuskulaning koordinatini (x) va u bilan kanonik qo'shma bo'lgan impulsni (p_x) bir vaqtda aniq o'lchash mumkin. Mikroolamda zarracha holatini (Ψ holat funktsiyasini) aniqlovchi parametrlar bir-birini inkor qiluvchi gruhlarga bo'linadilarki, ularni bir vaqtda o'lchab bo'lmaydi. Bunday parametrlar uchun

Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari mavjud. Ammo kvant mexanikasida zarracha holatini qisman aniqlovchi bir guruh parametrlarni (masalan, x, y, z) ikkinchi guruh parametrlari (masalan p_x, p_y, p_z) to'ldiradi. Natijada zarracha holatini aniqlash uchun to'la parametrlar (x, y, z, p_x, p_y, p_z) to'plamiga ega bo'lamiz. Bunga kvant mexanikasida to'ldirish tamoyili detsiladi. Bu tamoyilni N. Bor asoslagan. Uning fikricha mikrozarra holatini tavsiflovchi dinamik o'zgaruvchilar bir-birini to'ldiruvchi ikkita sinfga, fazo-vaqt parametrlariga va impuls- energetik parametrlarga bo'linadi. O'lchash jarayonida bu parametrlar bir-birini inkor etadi. Shuning uchun bu ikki guruh parametrlarni bir vaqtda o'lchovchi

asboblarda aloxida - aloxida bo'lishi kerak. O'lchov asboblari zarrachani holatlariga karab ajratadi (spektral analiz) va unga qo'shimcha bo'lgan detektor zarrachaning qaysi holatda ekanligini aniqlaydi. Albatta, o'lchash jarayonida mumtoz o'lchov asbobi zarracha holatiga kuchli ta'sir o'tkazmasligi kerak. Shunday qilib, kvant mexanikasidagi o'lchov jarayoni mikroxodisadan boshlanib makroxodisa bilan tugaydi.

Vodorod atomi ustida hisoblash usullari . Vodorod atomining asosiy turg'un holati uchun Shredingaer tenglamasi, yadroga bog'langan elektronning potensial energiyasi va uning grafigi, vodorod atomi uchun Shredinger tenglamasining yechimi va energetik sathlar, ionizatsiya energiyasi, orbital, bosh va magnit kvant sonlari, ularning oladigan qiymatlari, atom holatlarining belgilanishi, vodorod atomining spektrini kvant mexanikasi asosida tushuntirish, tanlash qoidasi, elektronning mexanik va magnit momenti, giromagnit nisbat, Bor magnetoni.

Sferik simmetrik potensial maydondagi mikrozarra harakati uchun shredinger tenglamasi.

Bor atom nazariyasining kamchiliklari aniq bo'lib qolgandan keyin atom jarayonlarni to'laligicha tushuntirib beruvchi umumiy atom nazariyasini yaratishga kirishildi. Atomning bunday nazariyasini kvant mexanikasi asosida yaratishga harakat qilindi. Natijada atomning Bor nazariyasida postulot tarzida qabul qilingan

elektron energiyasining kvantlanishi Shredinger tenglamasi echimidan o'z-o'zidan kelib chiqishi ma'lum bo'ldi. Bor atom nazariyasini postulatga tayanib yaratgan bo'lsa, atomning yangi nazariyasida bunga hojat bo'lmadi.

Kvant mexanikasida zarrachaning harakati, holat funksiyasi va energiyasi uni qanday maydonda harakat qilayotganligiga bog'liq. Biz oldingi ma'ruzalarda zarrachalarning bir o'lchovli potensial maydondagi harakatlari bilan tanishdik. Ko'pincha potensial maydonlar markaziy simmetrik yoki boshqacha aytganda sferik simmetrik bo'ladi, bunday maydonga misol qilib atom yadrosining Kulon maydonini olish mumkin. Zarrachaning markaziy sferik potensial maydondagi harakati o'rganish, atom tuzilishini, undagi elektronlarning holat funksiyasini va energiyasini aniqlash uchun xizmat qiladi. Atom yadrosining massasi atomdagi barcha elektronlarning massasidan ham bir necha marta katta. Masalan, vodorod atom yadrosi massasi elektron massasidan 1836 marta katta. Atom yadrosi atrofidagi markaziy simmetrik maydonda elektronlar harakat qiladi. Elektronlarning bu harakatini o'rganish uchun sanoq sistemasining boshi sifatida atom yadrosini olamiz. Bunday sistemada atom yadrosi elektronlar harakatlanayotgan maydon kuchlarining manbai hisoblanadi. Yadro bilan elektronlar orasidagi Kulon o'zaro ta'sir kuchlari, atom zarrachalarining magnit momentlarining o'zaro ta'sir kuchidan bir necha marta katta bo'lgani uchun asosiy hisoblanadi.

Vodorod atomining asosiy turg'un holati uchun Shredinger tenglamasi qanday ko'rinishda bo'lishini ko'raylik. Elektronning holati faqat yadrodan elektrongacha bo'lgan r masofaga bog'liq bo'lgan sferik to'liq funktsiya ψ ni o'z ichiga olgan Shredingerning turg'un holat tenglamasi bilan ifodalanadi.

$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left[E + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right] \psi = 0 \quad (4)$$

Bu formulada E atomdagi elektronning to'liq energiyasi. 4 tenglamadagi qavs ichidagi ikkinchi ifoda vodorod atomi yadrosi bilan elektron orasidagi masofa r ga bog'liq bo'lib u:

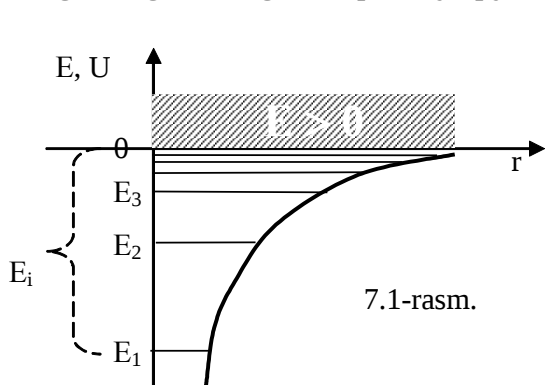
$$U(r) = - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (5)$$

ko'rinishda yoziladi.

$U(r)$ funksiyaning grafigi 7.1-rasmda yo'g'on egri chiziq bilan tasvirlangan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, elektron yadroga yaqinlashgan sari $U(r)$ cheksiz kamayib (moduli cheksiz ortib) boradi.

4 ko'rinishdagi differentsial tenglamani yechish anchagina murakkab matematik amallarni talab qiladi. Shuning uchun tenglamani qanday yechish yo'llariga to'xtalmay, uni tayyor yechimini muhokama qilamiz.

4 ko'rinishdagi tenglama ikki holda, ya'ni elektron energiyasi $E > 0$ bo'lgandagi E ning har qanday qiymatida va E ning



7.1-rasm.

$$E = - \frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^2}, \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

ma'lum vaziyatlarni olib joylashish tartibini ko'rsatadi. Ya'ni Z yo'nalish bo'yicha impuls momentining proyeksiyasi

$$L_{\ell z} = \hbar m_{\ell} \quad (7)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Bu erda m_{ℓ} magnit

kvant soni bo'lib, u $-\ell$ dan 0 orqali $+\ell$ gacha bo'lgan butun sonli qiymatlarni oladi, ya'ni

$$m_{\ell} = -\ell, -(\ell-1), \dots, -1, 0, +1, \dots, (\ell-1), +\ell$$

bo'lib, hammasi bo'lib $2\ell + 1$ qiymatini qabul qiladi. Demak, elektronning impuls momenti vektorini fazoda $2\ell + 1$ vaziyatlarni olib joylashishi mumkin.

Vodorod atomidagi elektron energiyasining (6) formula bilan aniqlanuvchi har bir qiymatiga bir necha to'liq funktsiya mos keladi, ular bir-biridan l va m kvant sonlari bilan farqlanadi. Misol tariqasida $n=2$ ga teng bo'lgan holni muhokama qilaylik. Orbital kvant soni l , (7) shartga asosan, 0 yoki 1 qiymatga ega bo'la oladi. $\ell = 0$ (S-holat) bo'lganda magnit kvant soni m_{ℓ} , (7) shartga asosan faqat 0 qiymatini oladi. Bunda elektronning mexanik impuls momenti ham nolga teng bo'ladi. Bu holatda elektron mavjud bo'ladigan fazodagi soha sferik simmetriyaga ega buladi. Ya'ni, yadro ma'lum qalinlikdagi dumaloq elektron

buluti bilan o'ralgan deyish mumkin. Elektron bulutini zich joylari elektron orbitasining birinchi Bor radiusiga ($r_1=0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$) mos keladi. Kvant mexanikasida elektronning "orbita" tushunchasi o'z ma'nosini yo'qotadi. Lekin kvant mexanikasi elektronning fazoning qaysi nuqtasida qayd qilinishi ehtimolligi haqida axborot bera oladi. (a,b,v)-rasmlarda 1S, 2R, 3d holatlardagi elektronlarni yadrodan r masofadagi nuqtalarda qayd qilish ehtimolligining zichligini tasvirlovchi grafiklar keltirilgan.

Rasmlardan ko'rinishicha elektronni eng katta ehtimollik bilan qayd qilinishi mumkin bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rinlari 1,2,3-Bor orbitalariga mos keladi. Orbital kvant soni $l = 1$ (R-holat) bo'lganda magnit kvant sonini uchta $m = -1$; $m = 0$; $m = 1$ qiymatlariga impuls momentini uch yo'nalishi to'g'ri keladi

(3.4.3(a)-rasm). Bunda L vektorini qiymati

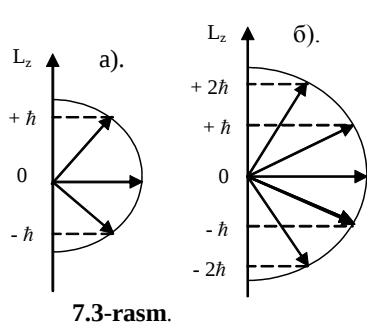
$$L = \hbar \sqrt{\ell(\ell+1)} = \hbar \sqrt{2}$$

bo'ladi.

Agar $\ell = 2$ (d-holat 7.3 b-rasm) bo'lsa, $m = -2$; $m = -1$; $m = 0$; $m = 1$; $m = 2$ qiymatlariga mos holda L vektorining besh vaziyati kuzatilishi mumkin.

$l = 3$ (f -holat) bo'lganda L ning ettita vaziyati mavjud bo'ladi va vo hokazo.

Atomda bir energetik sathga bittadan ko'p holatlar to'g'ri kelishiga sathning turlanishi (aynishi) deyiladi.



Bir xil energiyali holatlar soniga turlanish karraligi deyiladi. Vodorod va vodorodga o'xshagan atomlarda $n=1$ bo'lgan asosiy turg'un holati turlanmagan sath hisoblanadi. Lekin elektronning spinini hisobga olsak, vodorod atomidagi $n=1$ holat ham ikki karra turlangan bo'lishligi kelib chiqadi. Bunga keyin

to'xtalamiz. Kvant soni $n=2$ bo'lgan sath to'rt karra turlangan bo'ladi, bunda orbital kvant soni $\ell = 0$ ($m_\ell = 0$) bo'lgan bir holat va $\ell = 1$ ($m_\ell = 0, \pm 1$ bo'lgan uch holat). Keyingi $n=3$ va $n=4$ bo'lgan sathlar mos holda 9 va 16 karra turlangan bo'ladi (3.4.1-jadval). Atomdagi umumiy holatlar sonini aniqlash uchun elektronning spinini hisobga olib turlanish karraligini ikkiga ko'paytirish kerak. Bunday bo'lishi

Paulining ta'qiqlash prinsipidan kelib chiqishini keyingi ma'ruzada ko'rib chiqamiz.

7.1-Jadval

Bosh kvant soni, n	Orbital kvant soni, ℓ	Magnit kvant soni, ℓ	holatning belgilanishi	Turlanish karraligi (orbital impuls momenti bo'yicha)
1	0	0	1S	1
2 2	0 1	0 $0, \pm 1$	2S 2P	$\left. \begin{matrix} 1 \\ 3 \end{matrix} \right\} 4$
3 3 3	0 1 2	0 $0, \pm 1$ $0, \pm 1, \pm 2$	3S 3P 3d	$\left. \begin{matrix} 1 \\ 3 \\ 5 \end{matrix} \right\} 9$
4 4 4 4	0 1 2 3	0 $0, \pm 1$ $0, \pm 1, \pm 2$ $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$	4S 4P 4d 4f	$\left. \begin{matrix} 1 \\ 3 \\ 5 \\ 7 \end{matrix} \right\} 16$

Elektronni orbital mexanik momenti bilan magnit momenti orasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$P_m = \gamma L \quad (8)$$

Bu yerda γ - giromagnit nisbat deyilib, $\gamma = e/2m$ formula bilan aniqlanishi bizga elektromagnetizm kursidan ma'lum. γ ning yuqoridagi ifodasini va L ning (3.4.4) formulasini (8) ga qo'ysak.

$$p_m = \frac{e}{2m} \hbar \sqrt{\ell(\ell+1)} = \mu_B \sqrt{\ell(\ell+1)} \quad (9)$$

ifoda hosil bo'ladi. Bunda

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 0,927 \cdot 10^{-23} \frac{J}{Tl} \text{ kattalik Bor magnetoni deb ataladi.}$$

Yuqoridagi (9) ifoda mexanik momenti L ning kvantlanishidan magnit momenti P_m ni ham kvantlanishi kelib chiqishini ko'rsatadi.

Orbital magnit momentini tashqi magnit maydoni yo'nalishidagi tashkil etuvchisi

$$P_{mz} = \gamma L_z = \frac{e}{2m} \hbar m_\ell = \mu_B m_\ell$$

ko'rinishida aniqlanadi. Bu yerda m_ℓ - magnit kvant soni. Mexanik moment bilan magnit moment elektronni zaryadi manfiy bo'lgani uchun antiparalel, ya'ni qarama-qarshi yo'nalgan va ular fazodagi vaziyati kvantlanadi. Masalan S-holatda ($\ell = 0$,

$m = 0$) har ikkala moment ham nolga teng. Elektronning mexanik va magnit momentlarini fazoda kvantlanishi tajribada tasdiqlanishi kerak edi. Bunday tajribani 1922 yilda nemis fiziklari Otto Shtern va Valter Gerlax o'tkazdilar.

Kvant sonlari n , ℓ va m_ℓ Bor nazariyasidan olingan vodorod atomining chiqarish (yutilish) spektrini hosil bo'lishini to'liq tasvirlashga imkon beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Trofimova T.I. "Kurs fiziki". M.: "Visshaya shkola", 2000.
2. Savelev I.V. "Kurs obshey fiziki, kniga 5.", M.: Nauka. 1998.
3. Kristi R., Pitti A. Stroenie veshestva: Vvedenie v sovremennoy fiziku. M.: Nauka. 1969.
4. Yavorskiy B.M., Detlaf A.A. Spravochnik po fizike M.: Nauka. 1980.